

PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM

Alberto Jefferson da Silva Macêdo¹

Edson Mauro Santos²

MACÊDO, A. J. da S.; SANTOS, E. M. Princípios básicos para produção de silagem. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*, Umuarama, v. 22, n. 4, p. 147-156, out./dez. 2019.

RESUMO: Conservar alimentos na forma de silagem possui grande valia em regiões que ocorre estacionalidade climática, onde o excedente de forragem produzido no período das águas poderá ser utilizado posteriormente na época de estiagem. Para se produzir silagem de qualidade é preciso atentar-se para vários fatores inerentes ao método como também a planta forrageira a ser utilizada. Assim, conhecer os princípios básicos para produção de silagem são de grande valia para se produzir volumoso conservado de qualidade. Objetivou-se apresentar nesta revisão abordar os conceitos sobre a produção de silagem, como também as alterações que ocorrem durante o processo fermentativo. As principais características químicas avaliadas na silagem são: composição química, pH, capacidade tampão, as concentrações de ácidos orgânicos (ácidos láctico, acético, propiônico e butírico) e o nitrogênio amoniacal sob o percentual de nitrogênio total. Conhecer adequadamente as etapas para a produção de silagem são de grande valia para entender como funciona o processo fermentativo e como pode ser maximizado, resultando em silagem de qualidade e consequentemente satisfatório desempenho animal. Logo, com as informações expostas sobre o processo de conservação de forragens na forma de silagem consegue-se adequar a cultura forrageira à técnica, obtendo-se silagens de qualidade.

PALAVRAS CHAVE: Ácidos orgânicos. Conservação. Ensilagem. pH. Perfil fermentativo.

BASIC PRINCIPLES FOR SILAGE PRODUCTION

ABSTRACT: Preserving food in the form of silage has great value in regions presenting climatic seasonality, where the surplus of forage produced in the rainy season can be used later in the dry season. In order to produce quality silage, several factors inherent to the method must be considered, as well as the forage plant being used. Thus, knowing the basic principles for silage production is of great value to produce quality bulky preserves. The purpose of this review was to discuss concepts regarding the production of silage as well as the changes that occur during the fermentation process. The main chemical characteristics evaluated in the silage are chemical composition, pH, buffer capacity, organic acid concentrations (lactic, acetic, propionic and butyric acids), and ammoniacal nitrogen under the percentage of total nitrogen. Knowledge of the proper steps for silage production is of great value in understanding how the fermentation process takes place and how to maximize it, resulting in quality silage and consequently satisfactory animal performance. Thus, with the information presented on the process of forage preservation in silage form it is possible to adapt the forage culture to the specific technique, getting it quality silage.

KEYWORDS: Organic acids. Preservation. Silage. pH. Fermentative profile.

PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENSILAJE

RESUMEN: Conservar alimentos en forma de ensilaje tiene gran valor en regiones que ocurre estacionalidad climática, donde el excedente de forraje producido en el período de las aguas podrá ser utilizado posteriormente en la época de sequía. Para producir ensilaje de calidad es necesario atentarse para varios factores inherentes al método, como también a la planta forrajera a ser utilizada. Así, conocer los principios básicos para la producción de ensilaje es de gran valor para producir abultado conservado de calidad. Se pretendió presentar en esta revisión los conceptos sobre la producción de ensilaje, así como las alteraciones que ocurren durante el proceso fermentativo. Las principales características químicas evaluadas en el ensilaje son: composición química, pH, capacidad tampón, las concentraciones de ácidos orgánicos (ácidos láctico, acético, propiónico y butírico) y el nitrógeno amoniacal bajo el porcentaje de nitrógeno total. Conocer las etapas adecuadamente para la producción de ensilaje es de gran valor para entender cómo funciona el proceso fermentativo y cómo puede ser maximizado, resultando en ensilaje de calidad y consecuentemente satisfactorio desempeño animal. Por lo tanto, con las informaciones expuestas sobre el proceso de conservación de forrajes en la forma de ensilaje, es posible adaptar el cultivo de forrajera a la técnica, conseguirlo ensilajes de calidad.

PALABRAS CLAVE: Ácidos orgánicos. Conservación. Ensilaje. pH. Perfil fermentativo.

DOI: 10.25110/arqvet.v22i4.2019.6948

¹Aluno de Doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. macedoajs@gmail.com. Autor para correspondência

²Docente do Departamento de Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. edsonzootecnista@yahoo.com.br

Introdução

Para conseguir eficiência produtiva seja para produção de leite, carne ou lã, a dieta dos animais deve ser adequadamente equilibrada, contendo porções equivalentes de proteína, energia, minerais e vitaminas, de forma que atendam às exigências nutricionais dos animais para que estes possam expressar seu máximo potencial produtivo. Desta forma, a utilização de alimentos na alimentação animal merece destaque, pois geralmente a maior proporção das despesas totais oriundas de um sistema de produção animal é advinda com a alimentação.

O Brasil por apresentar clima predominante tropical se destaca no cenário mundial no que diz respeito à produção de alimentos, principalmente na pecuária de corte, devido a abundância de recursos naturais e longas extensões territoriais, sendo que a principal fonte de alimento de animais ruminantes são as pastagens (DIAS FILHO, 2014).

Porém, apesar de tais condições, é passível a ocorrência da estacionalidade climática em várias regiões do país, sendo mais evidente na região semiárida do nordeste brasileiro, onde a produção animal em pasto fica comprometida devido à escassez de forragem durante o período de estiagem. Diante desta realidade, tem-se a necessidade de conservar alimentos no período das águas para ser utilizado em períodos de estiagem, tendo como princípio básico da manutenção corpórea dos animais durante todo ano em busca de minimizar as variações produtivas entre os dois períodos (SILVA *et al.*, 2010).

A busca de alternativas que se possa utilizar para conservar alimentos é essencial, dentre as várias alternativas existentes, tem-se a técnica de ensilagem que consiste no armazenamento de forragem ou grãos úmidos em local isento de oxigênio, sendo baseada na conservação por acidificação, onde no material depois de ensilado ocorre a conversão de carboidratos solúveis em ácidos orgânicos (substancialmente ácido lático) por bactérias ácido lácticas anaeróbias que promovem abaixamento do pH, reduzem a atuação de microrganismos deletérios e promovem a conservação do material ensilado (DANNER *et al.*, 2003; NEUMANN *et al.*, 2010).

Para que a técnica de ensilagem se torne eficiente é preciso observar as características da forrageira a ser cultivada e a qualidade da silagem que se irá produzir, pois o entendimento dos eventos que ocorrem durante o processo de ensilagem é essencial para a obtenção de volumosos conservados de qualidade.

A utilização de silagens tem sido uma eficiente alternativa à produção animal, principalmente, durante períodos de baixa disponibilidade de forragens na forma de pastagens, proporcionando volumoso de boa qualidade e largamente empregado na alimentação de ruminantes (WILKINSON; RINNE, 2018). A conservação de alimentos é de extrema importância dentro do contexto de sistemas pecuários tanto para a produção de leite quanto carne (NEUMANN *et al.*, 2017).

Com a utilização da técnica da ensilagem permite-se a conservação de grandes ou pequenos volumes de forragem em um curto período de tempo e menor dependência de variáveis climáticas, porém após o processo, ocorre uma relativa diminuição do valor nutritivo do material quando comparado com a forragem *in natura* (MACÊDO *et al.*, 2017).

Durante o processo fermentativo de produção de si-

lagem, poderá haver mudanças do valor nutritivo do material durante a produção, ensilagem, conservação, abertura e fenômenos bioquímicos e microbiológicos inerentes ao processo e a forrageira utilizada. Alguns desses eventos são passíveis de serem corrigidos e consegue-se minimizar as perdas de valor nutritivo que podem ocorrer, utilizando-se de tecnologias apropriadas podem propiciar melhorias da qualidade do produto final (SANTOS *et al.*, 2018).

Para a obtenção de sucesso na produção de silagem é preciso atentar-se para o uso da técnica, devendo-se realizar correto dimensionamento do silo, tipo de silo, compactação, tamanho de partícula, vedação e abertura (LIMA *et al.*, 2017). Como também se deve atentar para as características intrínsecas do material a ser ensilado, para o teor de composição química, população epifítica, substâncias tamponantes, carboidratos solúveis, capacidade tampão e produção de ácidos orgânicos (DRIEHUIS; VAN WIKSELLAR, 2000). Pesquisas apontam as características ideais para cada espécie forrageira a ser ensilada, indicando o uso de técnicas específicas (aplicação de aditivos), no intuito de se reduzir o impacto das limitações no perfil fermentativo da forragem (ADESOGAN; SALAWU, 2004; ARRIOLA; KIM; ADESOGAN, 2011; ÁVILA *et al.*, 2014; KUNG JUNIOR; STOKES; LIN, 2003).

Ensilagem e o processo fermentativo

Conservar alimentos sob a forma de silagem se justifica pelo fato da silagem apresentar características semelhantes à forrageira que lhe deu origem, como também em regiões onde é comum a estacionalidade climática seja pela neve ou estiagem, se tornando uma alternativa interessante, logo que as exigências nutricionais dos rebanhos é constante e se o produtor não possuir reserva de alimentos, a produtividade animal no período de escassez será afetada significativamente, assim, a produção de silagem permite conservar a forragem excedente que foi produzida em condições ideais para ser ofertada em períodos de escassez de alimentos (NASCIMENTO *et al.*, 2013).

A conservação de forragem por meio da técnica da ensilagem consiste no acondicionamento do material em meio anaeróbico, em que devido à ausência de oxigênio, ocorre a paralização das células vegetais e o desenvolvimento de microrganismos (principalmente as bactérias do ácido lático) os quais têm a capacidade de utilizar os carboidratos solúveis disponíveis no meio em prol do seu crescimento, convertendo açúcares solúveis em ácidos orgânicos (principalmente ácido lático) promovendo o abaixamento do pH, a inibição de grupos microbianos indesejáveis (clostrídios, bacilos, enterobactérias, fungos filamentosos e leveduras) e assim a conservação do material ensilado pela acidificação (PAHLOW *et al.*, 2003; MUCK, 2010).

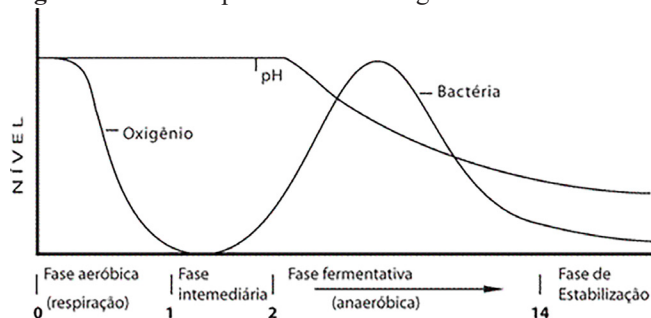
Fases do processo fermentativo

Um outro ponto a ser destacado na produção de silagem está relacionado à manutenção de condições adequadas para que o ambiente do silo esteja propício ao desenvolvimento dos microrganismos desejáveis, e consequentemente preserve as características químicas e físicas do alimento, aliando produtividade de biomassa da cultura e valor nutricional.

O processo de ensilagem pode ser dividido em

quatro etapas: fase de pré-fechamento do silo, fase de fermentação ativa, fase de fermentação estável e fase de abertura do silo, conforme observa-se na Figura 1 (WEINBERG; MUCK, 1996).

Figura 1: Fases do processo de ensilagem.



Fonte: Adaptado de Weinberg e Muck (1996).

É essencial que as etapas da colheita da forragem, transporte, compactação e vedação do silo sejam executadas o mais breve possível, pois durante a fase de pré-fechamento do silo podem ocorrer perdas elevadas, após a forragem ser processada ocorre um intenso processo de liberação de carboidratos solúveis e as enzimas da planta continuam atuando, utilizando como fonte de substrato os carboidratos disponíveis no meio, sendo que essa atividade enzimática inicial pode afetar negativamente o valor nutritivo do material final, pois os fenômenos bioquímicos que ocorrem quando a célula vegetal está respirando consomem nutrientes essenciais para a nutrição animal (DANNER *et al.*, 2003).

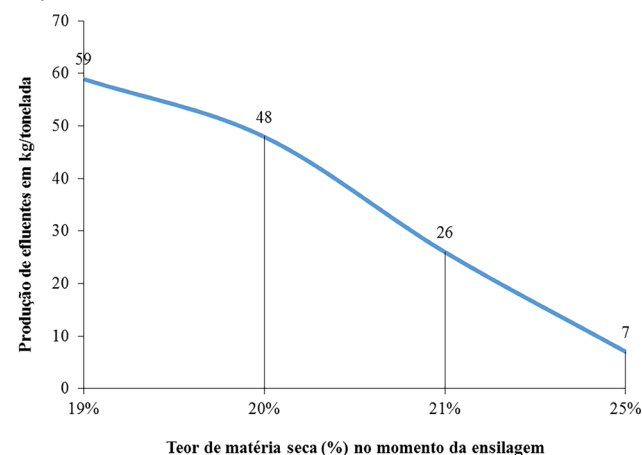
Assim, após o material ser devidamente ensilado inicia-se uma competição, onde a atuação de grupos microbianos aeróbios irão disputar fontes de substratos disponíveis, como também a atividade enzimática das células da planta poderá diminuir significativamente o valor nutritivo desse material, devido as perdas de matéria seca e energia (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Para que essas perdas sejam minimizadas a agilidade no processo de ensilagem é fundamental, pois com o material devidamente compactado e vedado, após o término da fase de pré-fechamento do silo, irá ocorrer a fase de fermentação ativa, em que ocorrerá o desenvolvimento de bactérias do ácido láctico (BAL) que são as principais responsáveis por promoverem o abaixamento do pH e conservação do material. Logo a eficiência do processo fermentativo está diretamente relacionada com a velocidade do declínio do pH em meio anaeróbio (SILVA *et al.*, 2010).

Fatores que influenciam no processo de ensilagem

A medida que o teor de matéria seca (MS) do material aumenta a produção de efluentes diminui (Figura 2) e o contrário é verdadeiro, indicando a importância da MS da forrageira no momento da ensilagem para se evitar perdas de nutrientes e diminuição do valor nutricional do material ensilado.

Figura 2: Efeito do teor de matéria seca na ensilagem de capim braquiária em diferentes idades de rebrota sobre a produção de efluentes.

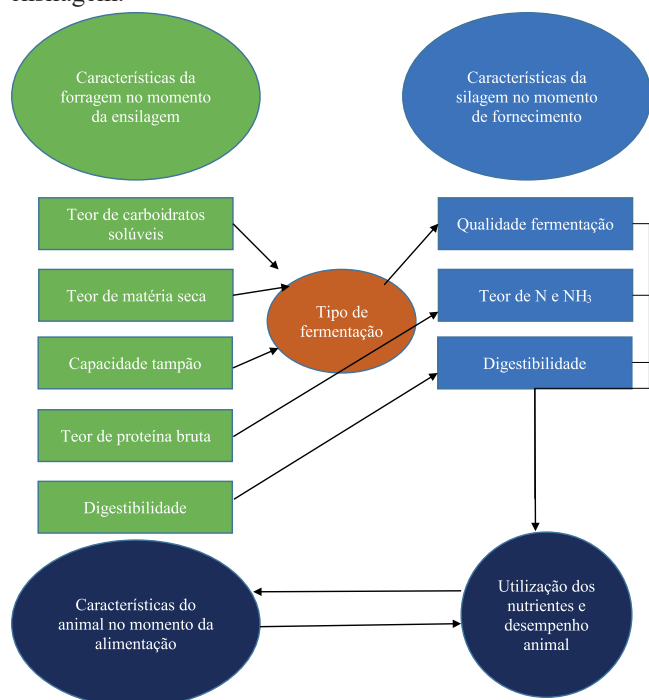


Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011).

Outros detalhes que são importantes para o processo de confecção de silagem são o conteúdo de MS do material, teor de carboidratos solúveis (CS) e o tamanho de partícula, logo que o teor de MS e o tamanho de partícula determinam a compactação da forragem, pois quando o teor de MS está elevado (acima de 45%) e o tamanho de partícula maior, tem-se dificuldades para compactação e quanto menor a compactação maior será a presença de oxigênio (O_2) residual, podendo prolongar a fase de pré-fechamento do silo e causar perdas elevadas (TOMICH *et al.*, 2003).

Assim, indica-se em média que a forrageira destinada a ser ensilada apresente teor de MS em torno de 25 a 40% com base na matéria orgânica (MO) e seja processada a um tamanho teórico de partículas em torno de 2 cm, já o teor de CS varia na planta forrageira em função da espécie, ciclo fenológico e, época de colheita e processamento (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Ainda para que se consiga produzir silagem de forma eficiente e com qualidade é preciso atentar-se para vários fatores (Figura 3), dentre os que envolvem a execução da própria técnica, como: dimensionamento do silo, compactação do material, tamanho de partícula, vedação. Como também depende das características (químicas e físicas) da forragem que se pretende ensilar (DRIEHUIS; VAN WIKSELLAR, 2000).

Figura 3: Efeitos das características da forrageira antes da ensilagem.

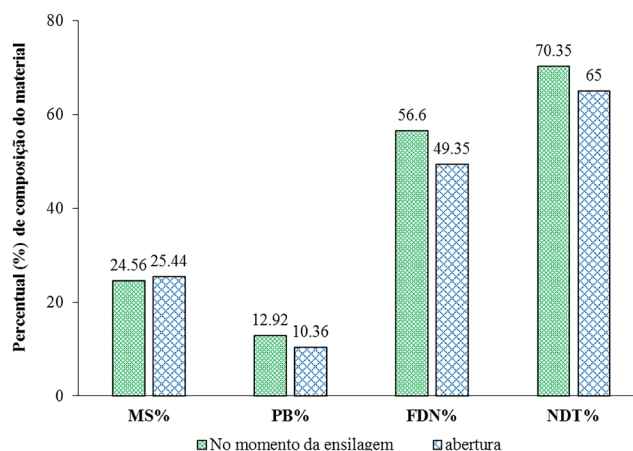
Fonte: Adaptado de Kaiser *et al.* (2004).

Assim, as características químicas do material ensilado são intrínsecas da própria forrageira e em partes dos procedimentos realizados durante o processo de ensilagem, diferentemente das características físicas do material que podem ser manipuladas de acordo com a forma de processamento da forragem.

As principais características químicas avaliadas na silagem são: composição química, pH, capacidade tampão, as concentrações de ácidos orgânicos (ácidos láctico, acético, propiônico e butírico) e o nitrogênio amoniacal sob o percentual de nitrogênio total ($\text{NH}_3/\% \text{NT}$) (MUCK, 2010).

Ao avaliar a composição química da silagem, permite-se realizar uma comparação da forragem *in natura* com a forragem conservada e observar a extensão das perdas que podem ter ocorrido durante esse processo, pois conforme maiores forem as diferenças entre a composição química do material original com a silagem, significa dizer que maiores foram as perdas de nutrientes que ocorreram durante o processo fermentativo. Assim, o objetivo básico da conservação de forragem por meio da ensilagem não foi atendido, pois a conservação dos nutrientes e manutenção do valor nutricional da forragem não foi alcançado e todo o trabalho de plantio, tratamentos culturais e ensilagem podem não valer a pena, quando ocorrem elevadas perdas durante a ensilagem (acima de 40%) (PAHLOW *et al.*, 2003).

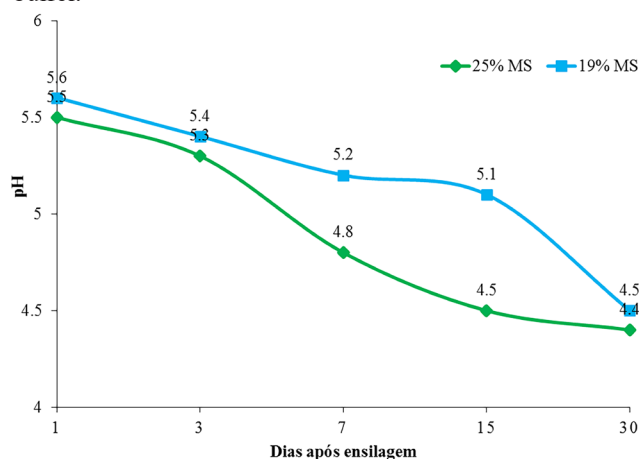
Conforme observa-se na Figura 4, há variação na composição química da silagem de girassol, referente à matéria seca, proteína bruta (PB), fibra solúvel em detergente neutro (FDN) e nutrientes digestíveis totais (NDT) quando comparada com o material antes de ensilar.

Figura 4: Variação da composição química da silagem de girassol quando comparada com o material antes da ensilagem, sob os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e nutrientes digestíveis totais (NDT) expresso em percentual (%).

Fonte: Adaptado de Cruvinel *et al.* (2017).

O pH é um dos indicadores mais comuns em avaliação de silagens, podendo apresentar a qualidade da fermentação, sendo importante avaliar esse indicador não apenas individualmente, mas em conjunto com outros indicadores de avaliação de silagens, pois nem sempre uma silagem pode apresentar qualidade por apenas expressar pH próximo de 4,0. O valor de pH está intimamente relacionado com a concentração de ácidos presentes no meio, principalmente o ácido láctico, que possui uma constante de dissociação maior que os outros ácidos comumente encontrados na silagem, pois este ácido possui elevada capacidade acidificante (SURGE *et al.*, 2010).

Conforme pode-se observar na Figura 5, o teor de MS do material influencia diretamente no abaixamento do pH, pois forragens muito úmidas podem apresentar maior período de fase aeróbia, onde a atuação de microrganismos indesejáveis diminui a capacidade das bactérias do ácido láctico dominarem a massa ensilada e consequentemente quanto mais tempo demora para o pH diminuir, maiores serão as perdas de nutrientes e energia.

Figura 5: Efeito do teor de matéria seca (MS) no momento do corte sobre o abaixamento do pH em silagens de capim-buffel.

Fonte: Adaptado de Pinho *et al.* (2013a).

Assim, a depender da faixa de pH, podem haver alterações qualitativas na microbiota epifítica da silagem durante a fermentação, pois os estudos feitos por Woolford (1984), mostram que o pH na faixa de 6,0 permite-se o desenvolvimento de clostrídios e enterobactérias, o pH na faixa de 5,0 permite o desenvolvimento de bactérias do ácido láctico heterofermentativas, o pH na faixa de 4,0 proporciona um ambiente ideal para o desenvolvimento de bactérias do ácido láctico homofermentativas e valores de pH abaixo de 3,5 proporciona um ambiente adequado para o desenvolvimento de leveduras.

De acordo com Herney e Cherney (2003), o pH quando avaliado individualmente pode não expressar a real situação da qualidade da fermentação, pois é bastante comum em silagens com alto teor de matéria seca apresentarem valores de pH acima de 5,0.

Já em silagens mais úmidas, o pH pode apresentar em torno de 4,0, apresentando nessa faixa de pH condições ideais para o crescimento de *Lactobacillus* spp. principal-

mente as BAL que são as principais responsáveis pela conservação do material ensilado (JOBIM *et al.*, 2007).

Conforme já relatado anteriormente quanto mais rápido for o declínio do pH menores serão as perdas de valor nutritivo do material, pois com a queda do pH devido ao meio estar ácido, ocorre a paralisação de enzimas do vegetal, como também a estagnação de microrganismos indesejáveis se desenvolverem na massa ensilada, porém deve-se atentar para o fato de que quando o pH abaixa demasiadamente abaixo de 3,5 pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos ácido-tolerantes, como no caso das leveduras que são capazes de produzir etanol gerando perdas elevadas de nutrientes (RODRIGUES *et al.*, 2007).

Baseando-se nas características que a faixa de pH pode modificar a microbiota da silagem, Tomich *et al.* (2003) apresentaram uma proposta para qualificação da fermentação da silagem, relacionando os valores de pH com o conteúdo de matéria seca (Tabela 1).

Tabela 1: Qualificação da fermentação da silagem em relação ao pH associado ao conteúdo de matéria seca (MS).

Tabela 14. Quantificação da fermentação da ensilagem em relação ao pH associado ao conteúdo de matéria seca (MS).					
	Valor de pH associado ao conteúdo de MS				Pontuação
	Conteúdo de MS (%)				
	< 20	20 - 30	30 – 40	> 40	
Valor de pH	< 4,0	< 4,2	< 4,4	< 4,6	25
	> 4,0 – 4,2	> 4,2 – 4,4	> 4,4 – 4,6	> 4,6 – 4,8	20
	> 4,2 – 4,4	> 4,4 – 4,6	> 4,6 – 4,8	> 4,8 – 5,0	15
	> 4,4 – 4,6	> 4,6 – 4,8	> 4,8 – 5,0	> 5,0 – 5,2	10
	> 4,6 – 4,8	> 4,8 – 5,0	> 5,0 – 5,2	> 5,2 – 5,4	5
	> 4,8	> 5,0	> 5,2	> 5,4	0

Fonte: Tomich *et al.* (2003).

De acordo com a tabela de qualificação, silagens com menores conteúdos de MS apresentam valores de pH mais baixos do que àquelas com maior concentração de MS. Ainda, silagens com teor inferior a 20% de MS e pH superior a 4,8, assim como silagens que apresentam acima 40% de MS e pH superior a 5,4, são silagens de baixa qualidade.

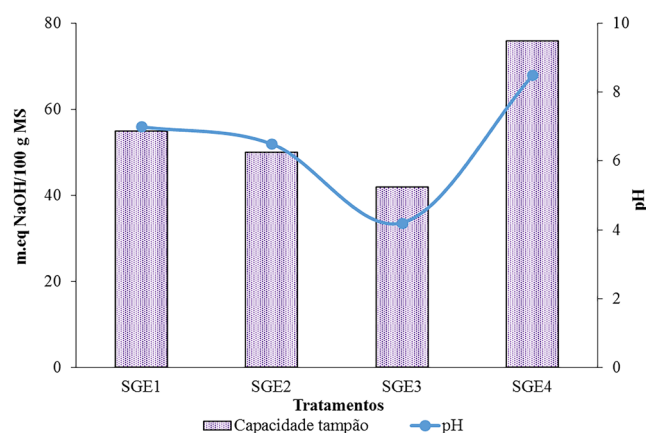
Correlacionar o teor de MS do material com o valor de pH é de fundamental importância, pois em silagens muito úmidas, apesar de poder apresentar pH em torno de 4,0 a elevada atividade de água pode proporcionar o desenvolvimento de enterobactérias e clostrídios que apesar de não conseguirem se desenvolver em ambientes ácidos, devido a elevada atividade de água no silo, estes microrganismos são capazes de resistir em tais condições. Portanto, a preservação da qualidade da silagem também está relacionada com a umidade da forrageira (TOMICH *et al.*, 2003).

A capacidade tampão (CT), pode ser definida como a resistência que a massa ensilada possui em relação ao abaixamento do pH, pois mesmo que a produção de ácidos ocorram, plantas forrageiras que apresentam elevada capacidade tampão como no caso de capins jovens e alfafa, essas plantas por possuírem substâncias tamponantes como sais minerais, teor de nitrogênio, ácidos orgânicos e baixos teores de CS, podem apresentar durante o processo fermentativo elevadas perdas de nutrientes e energia, pois as substâncias tamponantes impedem o abaixamento do pH (ÁVILA *et al.*, 2009).

Conforme pode ser observado na Figura 6, a CT

impede o abaixamento do pH, assim é importante atentar-se para essa característica que a forragem pode apresentar.

Figura 6: Capacidade tampão (m.eq NaOH/100 g MS) e pH de silagens de grama estrela com diferentes aditivos, observados no painel dos silos.



SGE1= Silagem de grama estrela (sem uso de aditivo); SGE2= Silagem de grama estrela com uso de aditivo enzimo-bacteriano comercial Katec® Bacto Silo C. Tropical (150g/tonelada de matéria natural); SGE3= Silagem de grama estrela com uso de aditivo enzimo-bacteriano comercial Katec® Bacto Silo C. Tropical (300g/tonelada de matéria natural); SGE4= Silagem de grama estrela com ureia (10 kg/tonelada de matéria natural).

Fonte: Adaptado de Bumbieris Junior *et al.* (2009).

A avaliação da concentração de ácidos orgânicos presentes na silagem permite ter uma noção de quais foram os rumos que a fermentação ocorreu no interior do silo e quais grupos microbianos se sobressaíram em comparação aos demais no final do processo. É importante destacar que durante o processo fermentativo são produzidos diversos tipos de ácidos (ácido láctico, acético, butírico, isobutírico, propiônico, valérico, isovalérico, succínico, fórmico dentre outros (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Porém, os ácidos mais comumente avaliados são os que se encontram em maiores concentrações (láctico, acético, butírico e propiônico), em destaque para o ácido láctico que em uma silagem adequadamente fermentada a proporção deste ácido deve ser superior aos demais, sendo produzido principalmente por BAL, sejam homo ou heterofermentativas sendo de fundamental importância para a conservação do material ensilado (MACÊDO *et al.*, 2018).

As concentrações de ácidos orgânicos que são produzidos nas silagens expressam o tipo de fermentação que ocorreu durante o processo fermentativo. Assim, a produção

de ácidos influencia no abaixamento do pH. Dentre esses ácidos que são produzidos tem-se destaque para o ácido láctico, por ser produzido em maior quantidade em comparação aos demais ácidos e por possuir maior constante de dissociação, possui maior capacidade acidificante (MOISIO; HEIKONEN, 1994; TOMICH *et al.*, 2003).

Os grupos microbianos que atuam no material ensilado possuem a capacidade de produzir diferentes tipos de ácidos em função da capacidade de fermentar açúcares simples em prol de seu desenvolvimento, sendo que cada grupo microbiano apresenta uma via de fermentação específica em função do substrato que utiliza e cada diferente via pode ser mais eficiente ou menos eficiente em termos quantitativos e qualitativos resultando em maiores ou menores perdas de matéria seca e energia (MUCK, 2010). Os principais carboidratos solúveis utilizados são: glicose, frutose, sacarose, arabinose e frutanas e os subprodutos da fermentação desses açúcares pode ser lactato, acetato, etanol, butirato e CO₂ (PAHLOW *et al.*, 2003) (Tabela 2).

Tabela 2: Reações bioquímicas que ocorrem durante o processo fermentativo para produção de silagem em função do substrato utilizado e as perdas de matéria seca (MS) e energia que podem ocorrer.

Reação	Tipo de fermentação	Perda de MS (%)	Perda de Energia (%)	Autor(es)
1 glicose = 2 lactato	homolática	0	0,7	*
1 frutose = 2 lactato	homolática	0	0,7	*
1 pentose = 1 lactato + 1 acetato	homolática e heterolática	0	-	*
1 glicose = 2 lactato + etanol + CO ₂	heterolática	24	1,7	*
3 frutose + H ₂ O = 1 lactato + 2 manitol + 1 acetato + CO ₂	heterolática	4,8	1,0	*
1 glicose = 2 etanol	leveduras	49	2,6	#
2 glicose = 1 lactato + 1 acetato + (1 etanol ou CO ₂)	enterobactérias	17	11,1	#
1 glicose = 1 butirato + 1 acetato	clostrídios	34	22,1	#
1 valina = isobutirato + NH ₃	clostrídios	30	25	*

Fonte: *Roberts (1995); # McDonald, Henderson e Heron (1991)

A produção de ácido láctico é em sua grande maioria devida à atuação de BAL homofermentativas como também as heterofermentativas, sendo sua produção correlacionada com a qualidade de fermentação, porém não deve ser avaliado de forma isolada, pois outros fatores também influenciam o abaixamento do pH como o teor de MS, CT e o teor de CS (MUCK, 2010).

O teor de ácido acético pode refletir na atuação de enterobactérias que causam elevadas perdas de MS durante o processo fermentativo, como também de bactérias do ácido láctico heterofermentativas. Do ponto de vista fermentativo não é indicado que a fermentação da massa ensilada predomine a fermentação acética, pois além deste ácido possuir menor constante de dissociação pode promover condições para o desenvolvimento de microrganismos que crescem em pH menos ácido como as enterobactérias (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Apesar das limitações que o ácido acético pode apresentar durante o processo fermentativo, este ácido devido à sua ação antifúngica pode melhorar a estabilidade aeróbia de silagens, pois estudos realizados com bactérias do ácido láctico heterofermentativas apresentaram resultados promissores

sob a melhoria da estabilidade aeróbia em silagens de milho e cana-de-açúcar após abertura dos silos (SANTOS; ÁVILA; SCHWAN, 2013; CARVALHO *et al.*, 2014).

O ácido propiônico é produzido principalmente por bactérias propiônicas e BAL heterofermentativas, porém em menor quantidade quando comparado aos ácidos láctico e acético, possui propriedades antifúngicas e em alguns casos pode ser adicionado na ensilagem para melhorar a estabilidade aeróbia da silagem além de ser rapidamente aproveitado no ambiente ruminal, logo que o ácido propiônico no rúmen se converte em propionato que é um precursor da glicose em ruminantes (RUTENBERG *et al.*, 2016; RAMOS *et al.*, 2017). Entretanto, a fermentação predominante de ácido propiônico não é desejável em silagem, pois este ácido possui menor constante de dissociação (reduz a acidificação da massa ensilada) podendo propiciar o desenvolvimento de microrganismos deletérios à qualidade da silagem (RUTENBERG *et al.*, 2016).

A atuação de microrganismos do gênero *Clostridium* na massa ensilada pode ser identificada por meio da concentração de ácido butírico, visto que esses microrganismos atuam convertendo açúcares solúveis e ácido láctico

em ácido butírico como também possuem a capacidade de deaminar proteínas, elevando a concentração de nitrogênio amoniacal (NH_3) em silagens (OGUNADE *et al.*, 2012).

A presença do ácido butírico reflete em silagens mal fermentadas, visto que este ácido além de causar efeito desagradável na silagem podendo inibir o consumo por parte dos animais, os clostrídios que se desenvolvem no material a depender das condições podem produzir micotoxinas, esporular e contaminar animais ao serem alimentados com silagens contaminadas, os esporos e as micotoxinas podem apresentar-se na carne ou no leite desses animais podendo ocorrer a contaminação cruzada com seres humanos (GISMERVIK *et al.*, 2015).

O nitrogênio amoniacal avaliado em silagens sobre o percentual do nitrogênio total ($\text{NH}_3/\% \text{NT}$) reflete na deaminação de proteínas, onde as bases púricas e pirimidinas dos aminoácidos são utilizadas por microrganismos proteo-

líticos como no caso de clostrídios ou até mesmo essas proteínas podem ser quebradas pela hidrólise ácida que ocorre no interior do silo, processos que podem ocorrer mais intensivamente nas primeiras 24 horas do processo fermentativo, podendo atingir 70% na fase de abertura (MUCK; BOLSEN, 1991; TOMICH *et al.*, 2003). Silagens bem conservadas possuem baixas concentrações (<10% de $\text{N-NH}_3/\text{NT}$) de nitrogênio amoniacal (VAN SOEST, 1994), pois este parâmetro representa a extensão da proteólise decorrente do processo fermentativo.

Na Tabela 3 é possível observar como as características fermentativas da silagem variam em função da cultura forrageira a ser utilizada. Nela estão dispostos os valores de ácidos orgânicos, pH, nitrogênio amoniacal e etanol encontrados em silagens de milho, sorgo, milheto, capins tropicais, cana-de-açúcar e girassol.

Tabela 3: Valores de ácido láctico (AL), acético (AA), butírico (AB), propiônico (AP), etanol (ET), nitrogênio amoniacal em percentual do nitrogênio total ($\text{N-NH}_3/\text{NT}$) e pH de vários tipos de silagens.

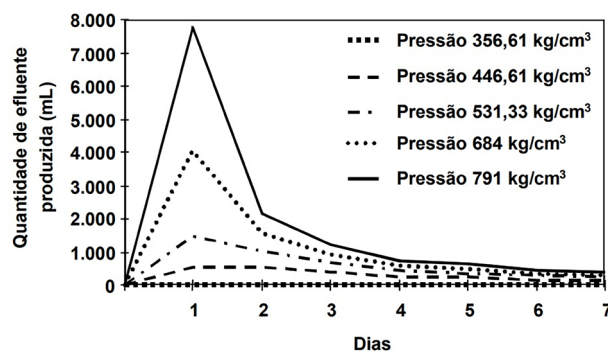
Silagem	AL	AA	AB	AP	ET	N-NH ₃ /NT	pH	Autor(es)
	(g/kg MS)							
Milho	71,6	34,4	6,0	5,7	-	26,10	4,29	Rabelo <i>et al.</i> (2017)
Sorgo	-	25	4,5	6,3	71	12,6	3,7	Behling Neto <i>et al.</i> (2017)
Milheto	39,1	10,8	0,5	2,4	-	-	3,17	Pinho <i>et al.</i> (2013b)
Capim Piatã	19,7	20,6	0,5	0,6	-	37,2	4,8	Bolson <i>et al.</i> (2017)
C. Guiné	7,0	37,1	50,2	25,5	-	11,69	4,76	Tomaz <i>et al.</i> (2017)
C. Elefante	75	17,1	0,4	-	-	20,1	4,4	Santos <i>et al.</i> (2008a)
Cana	90,4	41,1	30,1	24,6	170	-	3,8	Santos <i>et al.</i> (2017)
Girassol	38,4	13,7	0,9	2,2	-	26,6	5,2	Cruvinel <i>et al.</i> (2017)

A compactação do material ensilado depende, basicamente, do teor de matéria seca e tamanho de partícula da forragem. Forragens com elevado teor de MS apresentam maior resistência à compactação, dificultando-se atingir a densidade adequada e possibilitando maior volume de ar entre as partículas no silo (FREITAS *et al.*, 2017).

O tamanho de partícula da forragem também interfere na densidade de compactação do material ensilado. Partículas muito grandes permitem maior espaçamento entre as frações de forragem, enquanto, partículas muito pequenas podem implicar em maior produção de efluentes. Com isso, indica-se que a forragem seja processada em tamanho de partícula de aproximadamente dois centímetros (FREITAS *et al.*, 2017).

Conforme pode ser observado na Figura 7, forragens que possuem baixos teores de MS quando são compactadas a elevadas densidades apresentam elevadas perdas por efluentes, assim a densidade de compactação de um material para ser ensilado deve-se atentar para o teor de matéria seca do material e o tamanho de partícula.

Figura 7: Relação entre a quantidade observada (mL) do efluente e a densidade aplicada (kg/m^3) em um período de sete dias em silagens de capim-elefante.



Fonte: Adaptado de Loures *et al.* (2003).

De forma geral, silagens com densidade entre 600 a 800 kg/m^3 estão adequadamente compactadas, pois não há presença de oxigênio entre as partículas o suficiente para prejudicar o processo fermentativo. Entretanto, esta densidade de compactação não é indicada para forrageiras com alto teor de umidade, uma vez que se eleva assim a produção de efluentes. Para a compactação de forrageiras com baixo teor de MS densidades em torno de 500 a 550 kg/m^3 são recomendadas (LOURES *et al.*, 2003).

Conhecendo-se dos princípios básicos para produção de silagem e das características peculiares que a planta

forrageira destinada para ser ensilada possui, resultará em um processo fermentativo eficiente e consequentemente resultado em silagem de qualidade, minimizando as perdas, maximizando a conservação de nutrientes e obtendo desempenho animal satisfatório.

Considerações Finais

A produção de silagem vem se tornando uma realidade em várias outras regiões do Brasil, tendo em vista o déficit hídrico sazonal e redução da qualidade das forrageiras em determinado período do ano. Esta tecnologia de conservação busca a manutenção das características nutricionais (assim como manter a água em sua forma biológica prontamente disponível na dieta), possibilitando o armazenamento do excedente forrageiro gerado durante o período das chuvas para o uso posterior.

Conhecer adequadamente as etapas para a produção de silagem é de grande valia para entender como funciona o processo fermentativo e como pode ser maximizado, resultando em silagem de qualidade e consequentemente satisfatório desempenho animal.

Referências

- ADESOGAN, A. T.; SALAWU, M. B. Effect of applying formic acid, heterolactic bacteria or homolactic and heterolactic bacteria on the fermentation of bi-crops of peas and wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 983-992, 2004.
- ARRIOLA, K. G.; KIM, S. C.; ADESOGAN, A. T. Effect of applying inoculants with heterolactic or homolactic and heterolactic bacteria on the fermentation and quality of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 94, p. 1511-1516, 2011.
- ÁVILA, C. L. S. *et al.* The use of *Lactobacillus* species as starter cultures for enhancing the quality of sugar cane silage. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 940-951, 2014.
- ÁVILA, C. L. S. *et al.* Estabilidade aeróbia de silagens de capim-mombaça tratadas com *Lactobacillus buchneri*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 779-787, 2009.
- BEHLING NETO, A. *et al.* Fermentation characteristics of different purposes sorghum silage. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2607-2618, 2017.
- BOLSON, D. C. *et al.* Fermentative and bromatological value of Piatã palisadegrass ensiled with different additives. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 256, p. 515-521, 2017.
- BUMBIERIS JUNIOR, V. H. *et al.* Composição química e digestibilidade em ovinos da grama estrela ensilada com diferentes aditivos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1408-1414, 2009.
- CARVALHO, B. F. *et al.* Aerobic stability of sugar-cane silage inoculated with tropical strains of lactic acid bacteria. **Grass and Forage Science**, v. 70, n. 2, p. 308-323, 2014.
- CRUVINEL, W. S. *et al.* Fermentation profile and nutritional value of sunflower silage with *Urochloa brizantha* cultivars in the off-season. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, n. 2, p. 249-259, 2017.
- DANNER, H. *et al.* Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 1, p. 562-567, 2003.
- DRIEHUIS, F.; VAN WIKSELAAR, P. G. V. The occurrence and prevention of ethanol fermentation in high dry matter grass silage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 711-718, 2000.
- FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia, 36 p., 2014.
- FREITAS, P. M. D. *et al.* Qualitative parameters of pearl millet silage ammoniated with urea, at different compaction densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 679-689, 2017.
- GISMERVIK, K. *et al.* Effect of invasive slug populations (*Arion vulgaris*) on grass silage. II: Microbiological quality and feed safety. **Animal Feed Science and Technology**, v. 199, p. 20-28, 2015.
- HERNEY, J. H.; CHERNEY, D. J. R. Assessing silage quality. In: Buxton *et al.* **Silage Science and Technology**, Madison, Wisconsin, USA, p. 141-198, 2003.
- JOBIM, C. C. *et al.* Methodological advances in evaluation of preserved forage quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101-119, 2007.
- KUNG JUNIOR, L.; STOKES, M. R.; LIN, C. J. **Silage additives**. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2003. p.251-304.
- LIMA, L. M. *et al.* Lining bunker walls with oxygen barrier film reduces nutrient losses in corn silages. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 6, p. 4565-4573, 2017.
- LOURES, D. R. S. *et al.* Características do efluente e composição químico-bromatológica da silagem de capim-elefante sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 1851-1858, 2003.
- MACÊDO, A. J. S. *et al.* Silages in the form of diet based on spineless cactus and buffelgrass. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 35, n. 2, p. 121-129, 2018.
- MACÊDO, A. J. S. *et al.* Microbiologia de silagens: Revisão de Literatura. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, n. 9, p. 1-11, 2017.
- MCDONALD, P., HENDERSON, A. R., HERON, S. **The biochemistry of silage**. 2ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

- MICKAN, F. J.; MARTIN, M. D; PILTZ, J. W. **Silage Storage**. In: KAISER, A. G.; PILTZ, J. W.; BURNS, H. M.; GRIFFITHS, N. W. (Eds.) *Successful Silage*. 2.ed. Australia: Department of Primary Industries and Dairy Australia, 2004. 217-252p.
- MOISIO, T., HEIKONEN, M. Lactic acid fermentation in silage preserved with formic acid. **Animal Feed Science and Technology**, v. 47, p. 107-124, 1994.
- MUCK, R. E. Microbiologia silagem e seu controle por meio de aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 183-191, (supl. especial) 2010.
- MUCK, R. E.; BOLSEN, K. K. Silage preservation and additive products. **Field Guide and Silage Management in North America**, 1991. 105-126p.
- NASCIMENTO, M. C. O. *et al.* Armazenamento de forragem para caprinos e ovinos no semiárido do Nordeste. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 20-27, 2013.
- NEUMANN, M. *et al.* Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 253, p. 51-58, 2017.
- NEUMANN, M. *et al.* Aditivos químicos utilizados em silagens. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 187-208, 2010.
- OGUNADE, I. M. *et al.* Control of *Escherichia coli* O157:H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 3354-3362, 2012.
- PAHLOW, G. *et al.* **Microbiology of ensiling**. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (Ed.). *Silage science and technology*. 1st ed. Madison: American Society of Agronomy, p. 31-94, 2003.
- PINHO, R. M. A. *et al.* Microbial and fermentation profiles, losses and chemical composition of silages of buffel grass harvested at different cutting heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 12, p. 850-856, 2013a.
- PINHO, R. M. A. *et al.* Avaliação de genótipos de milheto para silagem no semiárido. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, p. 426-436, 2013b.
- RABELO, C. H. S. *et al.* Effects of *Lactobacillus buchneri* as a silage inoculant and as a probiotic on feed intake, apparent digestibility and ruminal fermentation and microbiology in wethers fed low-dry-matter whole-crop maize silage. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 67-77, 2017.
- RAMOS, J. P. F. *et al.* Fontes de volumoso em dieta para cabras anglo nubianas em lactação: consumo, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 18, n. 3, p. 1-20, 2017.
- ROBERTS, C. A. In: **Post-harvest physiology and preservation of forages**, Proceedings of Symposium, Crop Science Society of America, eds. MOORE, K. J.; PETERSON, M. A. 1995. 21-38p.
- RODRIGUES, P. H. M. *et al.* Efeito da inclusão de polpa cítrica peletizada na confecção de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1751-1760, 2007.
- RUTENBERG, R. *et al.* Encapsulated propionic acid as a silage additive. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 63, n. 1, p. 58-63, 2016.
- RUTENBERG, R. *et al.* Encapsulated propionic acid as a silage additive. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 63, n. 1, p. 58-63, 2016.
- SANTOS, A. O.; ÁVILA, C. L. S.; SCHWAN, R. F. Selection of tropical lactic acid bacteria for enhancing the quality of maize silage. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 7777-7789, 2013.
- SANTOS, A. P. M. *et al.* Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2018.
- SANTOS, E. M. *et al.* Microbial populations, fermentative profile and chemical composition of signalgrass silages at different regrowth ages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 747-755, 2011.
- SANTOS, E. M. *et al.* Composição bromatológica, perdas e perfil fermentativo de silagens de capim-elefante com níveis de inclusão de jaca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 1, p. 64-73, 2008.
- SANTOS, W. P. *et al.* Effect of the inoculation of sugarcane silage with *Lactobacillus hilgardii* and *Lactobacillus buchneri* on feeding behavior and milk yield of dairy cows. **Journal Animal Science**, v. 95, n. 10, p. 4613-4622, 2017.
- SILVA, N. V. *et al.* Alimentação de ovinos em regiões semiáridas do Brasil. **Acta Veterinária Brasileira**, v. 4, n. 4, p. 233-241, 2010.
- SURGE, C. *et al.* Fases da fermentação no processo de ensilagem: revisão de literatura. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS DA UNESP, ENCONTRO DE ZOOTECNIA, 6., 7., 2010, Dracena. **Anais [...]** Dracena: UNESP, 2010.
- TOMAZ, P. K. *et al.* Effect of sward height on the fermentability coefficient and chemical composition of Guinea grass silage. **Grass and Forage Science**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2017.
- TOMICH, T. R. *et al.* Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação. **Documentos 57**, Embrapa Pantanal. 2003.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. Ithaca: Cornell University Press. 2. ed. 1994. 476p.

WEINBERG, Z. G.; MUCK, R. E. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 19, n. 3, p. 53-68, 1996.

WILKINSON, J. M.; RINNE, M. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 40-52, 2018.

WOOLFORD, M. K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 350p.

Recebido em: 17.08.2018

Aceito em: 27.12.2019